

DISPOSITIF DE DÉTERMINATION DE CHEMINS DE COMMUTATION DANS UN RÉSEAU DE COMMUNICATIONS À COMMUTATION D'ÉTIQUETTES, EN PRÉSENCE D'ATTRIBUTS DE SÉLECTION

L'invention concerne le domaine des communications entre terminaux 5 au sein d'un réseau à commutation d'étiquettes, et plus particulièrement celui de la détermination des chemins (ou trajets) de commutation de flux de données entre un équipement de commutation dit « de départ » et un équipement de commutation dit « de destination ».

10 Comme le sait l'homme de l'art, un réseau dit « à commutation d'étiquettes » (ou « switched label networks »), comme par exemple MPLS ou GMPLS, comprend des équipements (ou nœuds) de commutation, également appelés routeurs de commutation d'étiquettes (ou LSRs pour « Label Switched Routers »). Les LSRs désignent deux types de routeurs ou 15 commutateurs couplés entre eux : les routeurs périphériques (ou LERs pour « Label Edge Routers »), chargés d'établir un chemin de commutation d'étiquettes (ou LSP pour « Label Switched Path ») pour chaque flux de données qu'ils reçoivent lorsque le gestionnaire du réseau le leur demande, et les routeurs de cœur (ou LCRs pour « Label Core Routers »), uniquement 20 chargés de la commutation des flux de données et de la transmission des données d'information du réseau.

L'établissement d'un chemin commuté consiste à adjoindre aux données d'un flux une étiquette associée au chemin à suivre et à réserver les ressources nécessaires à l'acheminement du flux jusqu'au nœud de destination compte tenu du type de service (ou ToS pour « Type of Service ») 25 et/ou de la qualité de service (ou QoS pour « Quality of Service ») qui est (sont) associé(s) à ce flux. Afin que chaque LER de départ puisse établir un chemin, chaque flux est donc associé à un LER de départ et un LER de destination, à une classe d'équivalence de transmission (ou FEC pour « Forwarding Equivalence Class ») et à un ensemble de données de service 30 définissant le type de service (ou ToS) et/ou la qualité de service (ou QoS).

Le calcul d'un chemin commuté LSP s'effectue soit à partir de la détermination du chemin le plus court entre les nœuds de départ et de

destination, soit à partir de l'énumération d'un ensemble de nœuds qu'il doit obligatoirement comporter.

A partir de la liste des nœuds produite par le calcul, un processus dit de signalisation établit le chemin commuté après en avoir validé les étapes 5 compte tenu de contraintes liées à la QoS et/ou ToS requise pour le flux.

Dans la première situation, l'emploi d'un unique critère (ou attribut) de sélection, tel que la longueur du chemin (ou le nombre de sauts), a généralement pour conséquence de diriger la plus grande partie du trafic suivant un même chemin, qui se trouve de ce fait encombré, alors même que 10 de nombreux autres chemins, qui pourraient s'avérer mieux adaptés compte tenu d'autres critères que la longueur, restent sous-utilisés. De plus, la présence de contraintes limite le choix de liens possibles et peut accentuer l'encombrement. En outre, la longueur du chemin n'est pas nécessairement le critère le plus important. D'autres critères peuvent s'avérer beaucoup plus 15 pertinents dans certaines applications, comme par exemple la bande passante requise.

Dans la seconde situation, le recours à un ensemble explicite de noeuds obligatoires compte tenu d'une contrainte peut permettre d'éviter les problèmes de réservation de ressources mais ne facilite pas l'automatisation 20 du calcul. De plus, cette méthode de calcul appelée « explicit routing », stricte ou relâchée, repose généralement sur des connaissances empiriques qui en limitent la fiabilité.

Pour tenter d'améliorer la situation, il a été proposé d'effectuer de façon séquentielle le calcul du chemin commuté compte tenu d'un unique 25 critère, puis de procéder à des vérifications compte tenu d'une ou plusieurs contraintes. Mais, cette méthode requiert beaucoup de temps de calcul dans la mesure où le LSP initialement calculé (généralement le plus court) ne dispose pas nécessairement des ressources adaptées aux contraintes liées à la qualité de service associée au flux à router et/ou n'appartient pas à la 30 classe administrative associée au flux à router.

L'invention a donc pour but de remédier à tout ou partie des inconvenients précités.

Elle propose à cet effet un dispositif de détermination de chemin(s) de

commutation de flux de données étiquetés dans un réseau de communications à commutation d'étiquettes comportant une multiplicité de nœuds de commutation d'étiquettes (ou LSRs), parmi lesquels des LERs et des LCRs.

5 Ce dispositif se caractérise par le fait qu'il comporte :

- des moyens de mémorisation stockant une table de correspondance entre des ensembles de données de service (par exemple représentatifs d'un type de service et/ou d'une qualité de service) et des données d'informations représentatives d'au moins deux critères choisis (ainsi qu'éventuellement des facteurs de pondération reflétant l'importance relative de ces critères), et une structure descriptive de données d'informations représentatives de l'état d'utilisation et de la topologie du réseau, et
 - des moyens de traitement chargés :
- 15 a) à réception d'une requête d'établissement de chemin contenant un ensemble de données de service associé à un flux à commuter, de déterminer dans la table au moins deux critères stockés en correspondance dudit ensemble de données de service associé au flux,
 - b) de s'assurer, à partir de données d'informations représentatives de l'état d'utilisation et de la topologie du réseau, stockées dans la structure descriptive, de la connexité de la multiplicité de LSRs,
 - c) de calculer parmi les LSRs des chemins possibles entre un LER de départ et un LER de destination, compte tenu d'au moins les deux critères déterminés, puis de déduire une solution idéale à partir de performances de ces chemins possibles sur au moins les critères,
 - d) d'attribuer à chaque chemin possible une valeur d'intérêt compte tenu de la solution idéale, puis de classer les chemins possibles compte tenu de leurs valeurs d'intérêt respectives, et
 - e) de sélectionner un chemin parmi les chemins possibles classés, puis d'associer au flux à commuter une étiquette représentative dudit chemin sélectionné afin que ce flux étiqueté soit commuté via le chemin vers le LER de destination.

Par définition, deux nœuds sont dits « connexes » s'ils peuvent s'échanger des données directement ou indirectement par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres nœuds. Autrement dit, si l'on considère un graphe de nœuds, ce graphe est dit connexe si chaque couple de nœuds peut être relié par un chemin.

Le dispositif selon l'invention qui peut servir, dans le mode de base présenté ci-dessus, à l'établissement de chemins commutés dans un premier mode multi-critères qui se caractérise par la prise en compte de critères en l'absence de contraintes, peut également servir à l'établissement de chemins commutés dans un second mode multi-critères qui se caractérise par la prise en compte de critères en présence de contrainte(s). Pour ce faire, les moyens de traitement peuvent, lorsque certaines données d'informations, associées à un ensemble de données de service, sont représentatives d'au moins une contrainte locale, déterminer parmi la multiplicité de LSRs, tous les couples de LSRs qui peuvent établir entre eux une liaison orientée supportant chaque contrainte locale stockée en correspondance d'un ensemble de données de service associé au flux à commuter, puis s'assurer de la connexité de l'ensemble des LSRs des couples.

En variante ou en complément, les moyens de traitement peuvent, lorsque certaines données d'informations, associées à un ensemble de données de service, sont représentatives d'au moins une contrainte globale, ne retenir parmi les chemins possibles que ceux qui satisfont à chaque contrainte globale stockée en correspondance d'un ensemble de données de service associé au flux à commuter, afin de n'attribuer des valeurs d'intérêt qu'aux chemins possibles retenus.

On entend ici par « contrainte locale » une contrainte appliquée sur des liens (ou liaisons) orienté(e)s, tels que des arcs. Par ailleurs, on entend ici par « contrainte globale » une contrainte appliquée sur un chemin, comme par exemple le nombre de sauts du chemin ou la durée maximale du chemin.

Préférentiellement, au moins l'un des critères utilisés est de type non additif. Dans ce cas, il est avantageux que les moyens de traitement intègrent, lors du calcul des chemins possibles et de la déduction de la solution idéale, une trace mémorisant un parcours correspondant à un chemin partiel, de

manière à détecter et prévenir l'apparition de cycles (ou boucles) dans les chemins en cours de construction. Et, il est encore plus avantageux que les moyens de traitement conservent certaines solutions, dites « faiblement non dominées » sur chaque critère déterminé, non additif, lors de la procédure 5 d'élimination des chemins partiels.

Les moyens de traitement du dispositif selon l'invention pourront comporter d'autres caractéristiques complémentaires qui pourront être prises séparément et/ou en combinaison, et en particulier ils pourront :

- vérifier la connexité (qui est une contrainte) par un mécanisme de propagation du nœud (ou LER) de départ vers tous les autres nœuds de la multiplicité de nœuds, afin que chaque nœud soit visité. Pour ce faire, ils peuvent, par exemple, utiliser l'algorithme de Tarjan ;
- déterminer pour chaque chemin des valeurs représentatives de leur « performance » par rapport à chacun des critères déterminés, puis 10 qualifier de chemin possible chaque chemin dont les valeurs de performance sont « non dominées ». Dans ce cas, ils peuvent également déterminer pour chaque critère, la meilleure valeur de performance observée sur les chemins possibles, dite « valeur optimale », puis construire la solution idéale sous la forme d'un multiplet de composantes 15 constituées des différentes valeurs optimales déterminées. En fait, les liaisons sur lesquelles les valeurs optimales sont observées constituent rarement une séquence connexe. Autrement dit, un chemin idéal correspondant à une solution idéale n'existe qu'exceptionnellement ;
- attribuer la valeur d'intérêt à chaque chemin possible qui caractérise la plus 20 grande valeur des composantes, associées aux différents critères déterminés, d'une fonction de Tchebychev pondérée, fonction des différences entre la valeur de performance du chemin concerné et la composante correspondante de la solution idéale. Dans ce cas, ils peuvent présélectionner k chemins possibles qui présentent les k plus petites 25 valeurs d'intérêt, puis procéder à la sélection d'un chemin parmi ces k chemins présélectionnés. En outre, ils peuvent, si nécessaire, calculer des chemins bidirectionnels. De plus, ils peuvent sélectionner parmi les k chemins au moins un autre chemin dédié à la restauration de liaison.

Par ailleurs, il est préférable que :

- les éventuelles contraintes locales et/ou globales appartiennent à un groupe comprenant au moins la bande passante minimale requise, la longueur maximale du chemin, la durée maximale du chemin, une ou plusieurs liaisons interdites, le nombre minimal et/ou maximal de sauts du chemin, un ou plusieurs nœud(s) obligatoire(s), un ou plusieurs nœud(s) interdit(s), une ou plusieurs classes de service autorisées, une ou plusieurs couleurs de chemin, une capacité de multiplexage en longueurs d'onde, une capacité de concaténation, une capacité d'allocation et une capacité de protection ;
 - les critères appartiennent à un groupe comprenant au moins la bande passante disponible, le nombre de sauts du chemin, la durée du chemin, une capacité de multiplexage en longueurs d'onde, une capacité de concaténation, une capacité d'allocation et une capacité de protection.
- Dans ce cas, il est encore plus préférable que les deux critères soient la bande passante disponible et la durée du chemin. Dans ce cas, les moyens de traitement peuvent avantageusement impacter (ou pondérer) le critère portant sur la durée du chemin par une pénalité portant, par exemple, sur le coût d'administration du chemin ;
- les critères soient pondérés en fonction de leur importance compte tenu d'informations de gestion. Dans ce cas, les facteurs de pondération sont préférentiellement stockés dans la table de correspondance, associés à certains au moins des critères.

L'invention porte également sur un routeur de commutation d'étiquettes équipé d'un dispositif du type de celui présenté ci-avant.

Par ailleurs, l'invention est particulièrement bien adaptée aux réseaux de communications à commutation d'étiquettes, tels que MPLS (« MultiProtocol Label Switching ») qui traite des flux constitués de paquets ou cellules de données asynchrones, et GMPLS (« Generalized MPLS ») qui traite des flux constitués non seulement de paquets ou cellules de données asynchrones mais également de trames (ou « frames ») synchrones ou de flux de lumière (ou « light streams »).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à

l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique une partie d'un réseau de communications à commutation d'étiquettes comportant une multiplicité de routeurs (ou nœuds) périphériques (LERs) équipés d'un dispositif de calcul de chemins de commutation selon l'invention, et
- la figure 2 est un graphe illustrant de façon schématique le mode de détermination de solutions dites « non dominées ».

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

Un réseau de communications à commutation d'étiquettes (ou « Label Switched Network ») comporte généralement, comme illustré sur la figure 1, une multiplicité de routeurs (ou nœuds) de commutation d'étiquettes (ou LSRs pour « Label Switched Routers ») couplés entre eux. Ces LSRs peuvent être regroupés en deux catégories : les routeurs périphériques (ou LERs pour « Label Edge Routers ») LER_n (ici $n = 1$ à 3), et les routeurs de coeur (ou LCRs pour « Label Core Routers ») LCR_m (ici $m = 1$ à 4). Comme on le verra plus loin, les LERs sont chargés d'établir des chemins de commutation au sein du réseau tandis que les LCRs sont chargés de la commutation.

Une multiplicité de terminaux d'utilisateurs ou d'entreprises MS_k (ici $k = 1$ et 2) sont susceptibles de se raccorder à certains au moins des LERs afin de pouvoir échanger des données entre eux.

Dans ce qui suit, on considère que le réseau est de type MPLS (« MultiProtocol Label Switching »). Mais bien entendu, l'invention n'est pas limitée à ce seul type de réseau à commutation d'étiquettes. Elle concerne d'une manière générale tous les types de réseaux à commutation d'étiquettes, comme par exemple les réseaux de type GMPLS (« Generalized MultiProtocol Label Switching »).

Par ailleurs, dans ce qui suit on considère que les terminaux MS_k sont des stations mobiles, telles que des téléphones mobiles. Mais, il pourrait s'agir de tout type de terminal de communications capable d'échanger des données avec d'autres terminaux ou équipements de réseau, comme par

exemple des téléphones fixes, des télécopieurs, des assistants numériques personnels (ou PDA pour « Personal Digital Assistant »), des ordinateurs fixes ou portables ou des serveurs de fournisseurs de contenus (ou ASP pour « Application Service Provider »).

5 L'invention est destinée à permettre la détermination de chemin(s) de commutation multi-critères, avec ou sans contrainte(s), de flux de données étiquetés au sein d'un réseau à commutation d'étiquettes (ici de type MPLS).

10 L'invention propose à cet effet au moins un dispositif de calcul Dn comportant un module de traitement Pn, chargé de déterminer le meilleur chemin commuté, de type LSP, entre un LER de départ et un LER de destination, compte tenu d'au moins deux critères, ainsi qu'éventuellement de contrainte(s). Le calcul du chemin peut être déclenché de façon centralisée (en mode automatique ou en mode manuel (ou interactif)) ou de façon distribuée (en mode automatique), par l'intermédiaire d'une requête 15 d'établissement de flux à commuter.

20 On entend ici par « chemin commuté » une suite ordonnée de nœuds (ou LSRs) ou de liaisons (entre deux nœuds ou LSRs) ayant pour début un LER de départ et pour fin un LER de destination. Bien entendu, un nouveau calcul de chemin peut être effectué chaque fois que l'on parvient au niveau 25 d'un LER de destination d'une zone (ou domaine) du réseau, décrite dans une structure descriptive de données (sur laquelle on reviendra plus loin), afin de poursuivre l'acheminement d'un flux de données. Par conséquent, seuls les LERs d'un réseau de type MPLS sont aptes à établir un chemin de commutation déterminé par un dispositif selon l'invention D et conformément 25 au protocole de commutation distribué du réseau.

Le dispositif Dn assurant préférentiellement, comme on le verra plus loin, l'étiquetage effectif d'un flux une fois son chemin déterminé, il est donc préférable qu'il soit implanté dans chaque LERn du réseau MPLS, comme cela est illustré sur la figure 1. Par conséquent, dans ce qui suit on considère 30 que le dispositif D1, implanté dans le routeur périphérique LER1, auquel est connecté un terminal MS1 qui souhaite établir une communication avec un terminal MS2 raccordé au routeur périphérique LER2, reçoit l'ordre de déterminer un chemin commuté entre le routeur de départ LER1 et un routeur

de destination, par exemple LER2.

- Par ailleurs, dans ce qui suit, on va décrire un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention Dn, dans le cas de l'établissement d'un chemin commuté multicritères en présence de contrainte(s) locale(s) et/ou globale(s).
- 5 Mais, comme mentionné précédemment, le dispositif Dn est également adapté à l'établissement d'un chemin commuté multicritères en l'absence de contrainte.

Il est tout d'abord rappelé que dans un réseau à commutation d'étiquettes, chaque flux de données est associé à un LER de départ et un
 10 LER de destination, à une classe d'équivalence de transmission (ou FEC pour « Forwarding Equivalence Class ») et à un ensemble de données de service définissant le type de service (ou ToS pour « Type of Service ») et/ou la qualité de service (ou QoS pour « Quality of Service »). Il est également rappelé que dans un réseau à commutation d'étiquettes, toutes les données
 15 d'un flux qui possèdent une même FEC doivent suivre un même chemin (LSP). L'association d'un flux à commuter à une FEC est effectuée par le LER d'entrée.

Le module de traitement P1, du dispositif D1, est tout d'abord chargé, lorsqu'il reçoit une requête d'établissement de chemin contenant un ensemble
 20 de données de service associé à un flux à commuter, d'extraire cet ensemble de données de service, puis d'accéder à une mémoire M1, dans laquelle se trouve stockée une table T11 établissant des correspondances entre des ensembles de données de service (par exemple représentatifs d'un type de service et/ou d'une qualité de service) et des données d'informations
 25 représentatives d'au moins deux critères choisis.

Préférentiellement, la mémoire M1 est implantée dans le routeur LER1. En d'autres termes, il est préférable de prévoir une mémoire Mn dans chaque routeur périphérique LERn. Mais, en variante on pourrait prévoir une unique mémoire « centrale » accessible à chaque dispositif Dn.

30 Une fois qu'il a déterminé dans la table T11 l'ensemble de données de service qui correspond à l'ensemble extrait, le module de traitement P1 peut extraire de cette table T11 toutes les données d'informations qui lui sont associés, et notamment les deux critères au moins.

Il est important de noter que chaque critère peut être associé à un facteur de pondération représentant son niveau de préférence relativement aux autres critères. Ces facteurs de pondération sont préférentiellement stockés dans la table de correspondance T11, associés aux critères correspondants.

Une fois qu'il a déterminé les critères, ainsi que les contraintes, associés au flux à commuter, le module de traitement P1 interroge une structure descriptive de données d'information T12, stockée, de préférence, dans la mémoire M1 et comportant des données d'informations 10 représentatives de l'état d'utilisation et de la topologie du réseau, afin de s'assurer de la connexité de la multiplicité de LSRs du réseau.

Ces données d'informations définissent notamment les ressources associées aux différentes liaisons entre nœuds, en terme de caractéristiques et de disponibilités, ainsi que la liste des nœuds LSRs, régulièrement mise à jour. Parmi les caractéristiques des ressources on peut notamment citer la topologie (liens disponibles), la bande passante, et la durée de transit entre deux nœuds d'une liaison. Ces informations sont généralement fournies par un protocole d'état de liaison tel qu'OSPF (pour « Open Shortest Path First ») lorsque celui-ci supporte une gestion de trafic par échange de TE-LSAs 20 (pour « Trafic Engineering – Link State Advertisements »). D'autres caractéristiques d'utilisation du réseau, telles que les couleurs autorisées sur une liaison, les classes de service autorisées, ou le coût administratif d'une liaison, sont fournies par le système de gestion du réseau (ou NMS pour « Network Management System »).

Pour s'assurer de la connexité de l'ensemble des noeuds (LSRs), le module de traitement P1 détermine tous les couples de noeuds (LSRs) qui peuvent établir entre eux une liaison (ou un lien, défini par un couple (i,j) désignant deux nœuds). En l'absence de connexité, le reste du traitement ne peut pas être effectué.

Le module de traitement P1 s'assure ensuite de la connexité des nœuds (LSRs) en présence de chaque contrainte locale. Il est important de noter que l'on peut envisager de s'assurer directement de la connexité des nœuds en présence de contrainte(s) locale(s), sans procéder à la vérification

de connexité en l'absence de contraintes.

On entend ici par « contrainte locale » toute contrainte applicable à une liaison orientée d'un réseau, telle qu'un arc, et notamment la bande passante minimale requise, la longueur maximale d'une liaison, la durée maximale d'une liaison, une ou plusieurs liaisons interdites.

Préférentiellement, cette vérification consiste à déterminer tous les couples de noeuds (LSRs) qui peuvent établir entre eux une liaison (ou un lien, défini par un couple (i,j) désignant deux nœuds) en présence de chaque contrainte locale.

La détermination des couples de nœuds s'effectue à partir de l'établissement d'un graphe de filtrage $G(X,U)$, où X représente le jeu de nœuds LSRs du réseau et U le jeu de liens (ou liaisons) directionnels (i,j) . Toutes les liaisons du graphe $G(X,U)$ qui violent au moins l'une des contraintes locales déterminées sont éliminées dudit graphe, ce qui produit un graphe « filtré ».

Le module de traitement P1 s'assure ensuite que le graphe $G(X,U)$ filtré est connexe (au sens mathématique du terme). Il utilise pour ce faire, préférentiellement, une technique de propagation d'information du nœud de départ LER (par exemple LER1) vers l'ensemble des nœuds LSRs du graphe filtré, de sorte que tous les nœuds LSRs soient vérifiés (ou testés). Cette vérification de la connexité du graphe peut être réalisée, par exemple, avec l'algorithme de Tarjan.

En l'absence de connexité du graphe filtré, le reste du traitement ne peut pas être effectué.

Si le graphe filtré est connexe, le module de traitement P1 calcule parmi les nœuds des couples (ou liaisons (i,j)) retenus tous les chemins possibles (ou « efficient paths ») r^* entre le nœud de départ LER1 (par exemple), auquel est connecté le terminal source MS1 qui requiert l'établissement de la communication, et un nœud de destination, par exemple LER2, auquel est connecté directement ou indirectement le terminal destinataire MS2, en prenant en compte au moins les deux critères déterminés dans la table T11.

On entend ici par « chemin possible » un chemin dit « efficace » ou

« Pareto-optimal » dont les valeurs de performances, sur lesquelles on reviendra plus loin, sont « non dominées ». Par ailleurs, on entend ici par « critère » tout type de critère (ou métrique) pouvant être pris en compte dans un réseau, qu'il soit de type additif, comme par exemple la durée du chemin 5 C1 ou le nombre de sauts du chemin C3, ou de type non additif, comme par exemple la bande passante disponible C2 (qui est de surcroît de type « minimum-maximum »). Par conséquent, les critères C1 et C2 sont, préférentiellement, toujours pris en compte, tandis que le critère C3 est optionnel.

10 Par ailleurs, il peut être intéressant d'impacter (ou pondérer) le critère C1 (durée du chemin) par un facteur de pondération, tel qu'une pénalité portant, par exemple, sur le coût d'administration du chemin CA. Cela permet de réduire les vecteurs de calcul, sur lesquels on reviendra plus loin, d'une dimension, et par conséquent de limiter le temps de calcul et la mémoire 15 nécessaire audit calcul.

Préférentiellement, un chemin possible r^* est calculé comme indiqué ci-après. Tout d'abord, un chemin est désigné par une variable $r(s,t)$, où s désigne le nœud source et t le nœud destinataire, ainsi que par un vecteur de performance $Z(r)$ défini par un multiplet de composantes $(Z_1(r), Z_2(r), \dots, Z_p(r))$ associées chacune à l'un des p critères utilisés. Par exemple, la composante $Z_1(r)$ représente la performance du chemin r par rapport au critère C1 et la composante $Z_2(r)$ représente la performance du chemin r par rapport au critère C2.

20 Pour un critère de type additif, tel que C1, la composante $Z_1(r)$ de la performance $Z(r)$ est définie par la relation $Z_1(r) = \sum_{(i,j) \in r} C_1(i, j)$.

Lorsque le critère C1 est impacté (ou pondéré) par la pénalité CA, la relation précédente s'écrit $Z_1(r) = \sum_{(i,j) \in r} C_1(i, j) * CA(i, j)$.

Pour un critère de type non additif, tel que C2, la composante $Z_2(r)$ de la performance $Z(r)$ est définie par la relation $Z_2(r) = MIN_{(i,j) \in r} C_2(i, j)$.

30 Ici, $C_p(i,j)$ désigne la valeur du critère Cp pour un arc (i,j).

Compte tenu de ces définitions, un chemin est qualifié de chemin

possible $r^*(s,t)$, c'est à dire « efficace », si il n'existe pas de chemin envisageable entre les noeuds s et t vérifiant la relation : $Z_p(r) \leq Z_p(r^*)$, $\forall p = 1$ à P (où P est le nombre total de critères utilisés), et $Z_p(r) < Z_p(r^*)$ pour l'une quelconque de ces composantes p appartenant à l'ensemble $\{1, \dots, P\}$.

5 Le vecteur de performance $Z(r^*)$ du chemin r^* est alors appelé solution « non dominée » (ou NDS pour « Non-Dominated Solution ») lorsque tout autre chemin r' possède un vecteur de performance $Z(r')$ dont l'une au moins des composantes $Z_p(r')$ est « moins bonne » (ou « moins performante ») que la composante correspondante $Z_p(r^*)$ du chemin r^* . Un tel chemin r^* , associé à un vecteur de performance non dominé, est alors appelé 10 chemin possible (ou « efficient path ») ou « Pareto-optimal ».

15 Un exemple de détermination de solution non dominée (ou NDS) est illustré sur la figure 2, dans le cas de deux critères $C1$ et $C2$, de type commensurable, c'est-à-dire dont les dimensions métriques peuvent faire l'objet d'addition(s) et de multiplication(s). Cela s'applique également aux grandeurs incommensurables, telles que la bande passante $C2$. Cela s'applique également à des ensembles de grandeurs incommensurables entre-elles telles que la durée du chemin $C1$ et la bande passante $C2$.

20 Dans cet exemple, $Z(r^*)$ est une solution non dominée (ou NDS), puisqu'il n'existe pas d'autre point dont toutes les coordonnées sont strictement inférieures à celles de $Z(r^*)$. Chaque autre point $Z(r)$ possède au moins une composante qui est moins bonne que la composante correspondante de $Z(r^*)$. En d'autres termes, le cône, matérialisé par des tirets et placé en-dessous et à gauche de $Z(r^*)$, est vide. Dans cet exemple, 25 $Z(r')$ est dominé par quatre points, dont $Z(r^*)$, qui se trouvent placés dans le cône matérialisé par des tirets placé en-dessous de lui, mais pas par les points extrêmes $Z1(r)_{min/C1}$, associé à $C1$, et $Z2(r)_{min/C2}$, associé à $C2$, qui sont donc également non dominés. Seule $Z(r')$ est ici une solution dominée. Par ailleurs, $Z(r'')$ est une solution dite « faiblement non dominée » par $Z(r^*)$ car 30 l'une au moins des composantes de $Z(r'')$ est égale (et non strictement inférieure) à son homologue dans $Z(r')$.

Afin de calculer les différents chemins possibles r^* obtenus par la méthode présentée ci-avant, on peut utiliser une adaptation d'un algorithme

d'attribution de label, du type de celui décrit dans le document de E. Martins, « On a multi-criteria shortest path problem », European Journal Of Operational Research, Vol.16, pages 236-245, 1984.

L'adaptation consiste, notamment, à intégrer aux critères additifs traités par l'algorithme de Martins un critère de type non additif, comme par exemple un critère de type « minimum-maximum ». L'intégration d'un tel critère impose des aménagements de l'algorithme, comme par exemple ceux mentionnés ci-dessous.

Un premier aménagement peut consister à intégrer à l'algorithme de calcul de chemins (correspondant à l'étape d) du procédé) une trace mémorisant le parcours correspondant à un chemin partiel, afin de détecter et prévenir l'apparition, dans les chemins en cours de construction, de cycles (ou boucles) lors de la progression de l'algorithme.

Un second aménagement, de préférence combiné au premier, peut consister à conserver des solutions faiblement non dominées sur le critère « minimum-maximum » lors de la procédure d'élimination des chemins partiels. Par exemple, si l'on considère trois critères C_1, C_2, C_3 dont les deux premiers sont additifs et le troisième de type « minimum-maximum », le point $z = (3, 2, 4)$ est dominé par le point $z^* = (1, 1, 4)$ pour les critères C_1 et C_2 mais faiblement non dominé pour le critère C_3 . z et le chemin partiel correspondant sont donc conservés. Cela permet de considérer tous les chemins efficaces possibles. Cependant, les solutions correspondant aux chemins efficaces finaux (produits à l'étape b) du procédé) sont toutes non dominées et non pas faiblement non dominées.

Tous les chemins possibles déterminés r^* sont alors stockés dans une mémoire du dispositif D (non représentée), ce qui garantit que le meilleur d'entre eux, compte tenu des critères et contraintes utilisées, n'a pas été omis.

Le module de traitement P1 forme ensuite une solution idéale $Z(\bar{y})$. Plus précisément, la solution idéale $Z(\bar{y})$ est un vecteur se présentant sous la forme d'un multiplet de composantes.

Ces composantes sont calculées comme suit. Pour chaque critère C_p , on extrait la meilleure valeur de performance Z^{*p} observée sur les

chemins possibles. Chaque meilleure valeur de performance Z^*p observée est appelée valeur optimale associée au critère correspondant. Les différentes valeurs optimales constituent alors les composantes de la solution idéale $Z(\mathbf{y}) = (Z^*1, Z^*2, \dots, Z^*p)$, représentative d'un chemin idéal \mathbf{y} .

Il est important de noter que le chemin idéal \mathbf{y} , représenté par la solution idéale $Z(\mathbf{y})$, ne correspond pas forcément à l'un des chemins possibles r^* du jeu de chemins possibles déterminés. C'est même rarement le cas, dans la mesure où les liaisons sur lesquelles sont observées les valeurs optimales constituent rarement une séquence connexe. Néanmoins, lorsque c'est le cas, il constitue l'unique chemin possible r^* puisqu'il domine tous les autres.

Le module de traitement P1 soumet ensuite les différents chemins possibles à au moins une contrainte globale déterminée ou reçue.

On entend ici par « contraintes globales » des contraintes pouvant être appliquées à des chemins par opposition aux contraintes locales qui s'appliquent aux liaisons (ou liens) entre nœuds. Il pourra s'agir, par exemple, de la bande passante minimale requise, de la longueur maximale du chemin, du nombre de sauts maximal du chemin, et de la durée maximale du chemin.

Le module de traitement P1 retient les chemins possibles r^* qui ne violent pas la ou les contraintes globales utilisées. Dans le cas de l'établissement d'un chemin en mode multicritères sans contrainte, ce traitement est bien entendu omis.

Le module de traitement P1 attribue ensuite à chaque chemin possible r^* une valeur d'intérêt (ou « path value ») $U(r)$ compte tenu de la solution idéale $Z(\mathbf{y})$.

A cet effet, on peut utiliser une fonction de scalarisation classique, comme par exemple une fonction de Tchebychev pondérée, fonction des différences entre les composantes $Z_p(r)$ de la valeur de performance $Z(r)$ du chemin concerné r et les composantes correspondantes $Z_p(\mathbf{y})$, représentatives du chemin idéal \mathbf{y} . Une telle fonction peut se présenter sous la forme $U(r) = \text{MAX}_{p=1 \text{ à } P} \{W_p(Z_p(r) - Z_p(\mathbf{y}))\}$, où W_p est un coefficient (ou facteur) de pondération du critère C_p choisi lors de la configuration du dispositif et permettant de donner aux critères, éventuellement, des poids

relatifs différents. Cette valeur d'intérêt quantifie l'écart de performance qui sépare un chemin possible r^* du chemin idéal α , compte tenu des poids respectifs accordés aux différents critères utilisés.

Le module de traitement P1 classe ensuite les chemins possibles r^*
 5 compte tenu de leurs valeurs d'intérêt $U(r)$ respectives. Avec la définition de la valeur d'intérêt $U(r)$ donnée ci-dessus, les chemins possibles sont classés par ordre de valeur d'intérêt croissante, la valeur d'intérêt $U(r)$ la plus petite correspondant au chemin possible r^* le mieux approprié au transfert des données, compte tenu des critères et contraintes utilisés. Le classement est
 10 donc effectué par rapport à un point idéal inféré par les données et non à partir d'une comparaison fondée sur des valeurs arbitraires.

Puis, il sélectionne parmi les chemins possibles classés les k chemins les mieux classés, de manière à router des données via l'un de ces k chemins, et de préférence celui qui est le mieux classé (valeur d'intérêt $U(r)$ la plus petite dans l'exemple décrit). K est un entier qui peut être compris, par exemple, entre 1 et 5. Il est important de noter que le nombre de chemins trouvés par le traitement décrit ci-dessus peut être inférieur à k .

Le module de traitement P_n peut également sélectionner un second chemin parmi les k chemins possibles classés, de manière à offrir un chemin
 20 de secours (ou « backup LSP ») pouvant être substitué au premier chemin en cas de problème sur ce chemin. Il est cependant préférable que le (second) chemin de secours soit disjoint du (premier) chemin. Cela permet notamment de mettre à la disposition de l'abonné la fonction de protection / restauration de liaison.

25 Les chemins possibles peuvent être utilisés dans le cadre de ce que l'homme de l'art appelle la répartition de charge.

Une fois le chemin de commutation sélectionné, le module de traitement P1 associe au flux à commuter une étiquette représentative dudit chemin. Le routeur périphérique de départ LER1 peut alors établir le chemin
 30 sélectionné en réservant les ressources qui satisfont aux critères et contraintes associés au flux reçu. Puis, il transmet le flux étiqueté à destination du routeur périphérique de destination LER2, via chaque nœud LSR du chemin déterminé.

Il est important de noter que le module de traitement P peut être agencé de manière à calculer des chemins commutés de type bidirectionnel. Cela est notamment utile dans le cas de réseaux de type GMPLS.

Dans le cas des réseaux de type GMPLS, des attributs différents et/ou complémentaires de ceux présentés ci-dessus peuvent être utilisés, afin de tenir compte de leurs spécificités respectives (réseaux à multiplexage temporel (ou TDM pour « Time Division Multiplexing »), comme par exemple les réseaux SONET et SDH, et les réseaux à multiplexage de longueurs d'onde (ou WDM pour « Wavelength Division Multiplexing »). Par exemple, dans le cas des réseaux à commutation de longueurs d'onde, la transparence peut être optimisée en minimisant le nombre de sauts d'un chemin compte tenu d'une contrainte liée à la distance maximale possible sans dégradation de signal. D'une manière générale, les attributs spécifiques peuvent refléter les capacités des liaisons, transmises par l'intermédiaire de TLVs de bas niveau et désignant par exemple un multiplexage de longueurs d'onde, une concaténation, une allocation ou une protection de commutation dans le cas de circuits SDH.

Le dispositif de calcul D, et principalement son (ou ses) module(s) de traitement P, ainsi qu'éventuellement la (ou les) mémoire(s) M, peuvent être réalisés sous la forme de circuits électroniques, de modules logiciels (ou informatiques), ou d'une combinaison de circuits et de logiciels.

Dans ce qui précède, il a été question de critères et contraintes (locales et globales), qui peuvent sembler, dans certains cas, sensiblement identiques. En fait, ils peuvent être considérés comme des attributs de sélection qui se matérialisent parfois sous la forme de critères, parfois sous la forme de contraintes, sachant qu'un critère fait généralement l'objet d'une maximisation ou d'une minimisation tandis qu'une contrainte est généralement définie par une ou deux valeurs, fixées ou limitatives.

Ces attributs de sélection sont définis par l'opérateur du réseau lors de la configuration du réseau, et dépendent du type de service requis, par exemple l'envoi d'un e-mail ou une demande d'établissement de visio-conférence, et/ou de la qualité de service (ou QoS) requise lors de la réservation initiale de ressources. Plus précisément encore, on choisit les

critères en fonction du type de service requis, tandis que l'on choisit les contraintes, et leurs valeurs, en fonction de la qualité de service requise.

L'invention peut être également considérée sous la forme d'un procédé de détermination de chemin(s) de commutation de flux de données 5 dans un réseau de communications à commutation d'étiquettes comportant une multiplicité de nœuds (LSRs) dont des nœuds périphériques (LERs) et des nœuds de cœur (LCRs).

Ce procédé peut être mis en œuvre à l'aide du dispositif de calcul D présenté ci-avant. Les fonctions et sous-fonctions principales et optionnelles 10 assurées par les étapes de ce procédé étant sensiblement identiques à celles assurées par les différents moyens constituant le dispositif D, seules seront résumées ci-après les étapes mettant en œuvre les fonctions principales du procédé selon l'invention.

Ce procédé comprend la combinaison d'étapes suivante :

- 15 a) prévoir une table de correspondance Tn1 entre des ensembles de données de service (par exemple représentatifs d'un type de service et/ou d'une qualité de service) et des données d'informations représentatives d'au moins deux critères choisis (ainsi qu'éventuellement des facteurs de pondération), et une structure descriptive Tn2 de données d'informations représentatives de l'état d'utilisation et de la topologie du réseau,
- 20 b) à réception d'une requête d'établissement de chemin contenant un ensemble de données de service associé à un flux à commuter, déterminer dans la table Tn1 au moins deux critères stockés en correspondance de cet ensemble de données de service associé au flux,
- 25 c) s'assurer, à partir des données d'informations qui sont stockées dans la structure Tn2, de la connexité de la multiplicité de LSRs,
- d) parmi les nœuds, calculer des chemins possibles entre un LER de départ et un LER de destination, compte tenu d'au moins les deux critères déterminés à l'étape b), puis déduire une solution idéale à partir de performances des chemins possibles sur au moins les critères,
- 30 e) attribuer à chaque chemin possible une valeur d'intérêt compte tenu de la solution idéale, puis classer ces chemins possibles compte tenu de leurs valeurs d'intérêt respectives, et

- f) sélectionner un chemin parmi les chemins possibles classés, puis associer au flux à commuter une étiquette représentative du chemin sélectionné afin de commuter ce flux étiqueté via ce chemin vers le LER de destination.

5 L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de procédés, dispositifs et routeurs périphériques décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

Ainsi, dans ce qui précède, il a été décrit un mode de fonctionnement
 10 dans lequel on prenait en compte des critères (au moins deux), au moins une contrainte locale et au moins une contrainte globale. Mais, d'autres modes de fonctionnement peuvent être envisagés. On peut en effet envisager un mode de fonctionnement dans lequel on prend en compte des critères (au moins deux) et au moins une contrainte locale, sans contrainte globale. On peut également envisager un autre mode de fonctionnement dans lequel on prend en compte des critères (au moins deux) et au moins une contrainte globale,
 15 sans contrainte locale. Enfin, comme évoqué précédemment, on peut également envisager un mode de fonctionnement dans lequel on ne prend en compte que des critères (au moins deux).

Par ailleurs, dans ce qui précède il a été question de routeurs périphériques équipés chacun d'un module de traitement et d'une mémoire de données de service et d'informations constituant en combinaison un dispositif selon l'invention. Mais, on peut envisager de n'implanter dans chaque routeur périphérique qu'un module de traitement et de prévoir une mémoire partagée comprenant toutes les données de service et d'informations, par exemple implantée dans un serveur dédié du réseau ou dans le NMS. De même on peut envisager un module de traitement partagé et une mémoire partagée comprenant toutes les données de service et d'informations, par exemple implantés dans un serveur dédié du réseau ou dans le NMS.
 20
 25

REVENDICATIONS

1. Dispositif de détermination de chemin(s) de commutation de flux de données étiquetés dans un réseau de communications à commutation d'étiquettes comportant une multiplicité de nœuds de commutation d'étiquettes (LSR), chaque flux étant associé à une classe d'équivalence de transmission choisie et à un ensemble de données de service choisi, caractérisé en ce qu'il comporte :
- des moyens de mémorisation (Mn) propres à stocker une table (Tn1) de correspondance entre des ensembles de données de service et des données d'informations représentatives d'au moins deux critères choisis, et une structure descriptive (Tn2) contenant des données d'informations représentatives d'un état d'utilisation et d'une topologie du réseau,
 - des moyens de traitement (P) agencés :
- 15 a) à réception d'une requête d'établissement de chemin contenant un ensemble de données de service associé à un flux à commuter, pour déterminer dans ladite table (Tn1) au moins deux critères stockés en correspondance dudit ensemble de données de service associé au flux,
- 20 b) pour s'assurer de la connexité de ladite multiplicité de nœuds, à partir des données d'informations stockées dans ladite structure descriptive (Tn2),
- 25 c) pour calculer parmi lesdits noeuds (LSR) des chemins possibles (r^*) entre un nœud de départ (LER1) et un nœud de destination (LER2), compte tenu d'au moins lesdits deux critères déterminés, puis pour déduire une solution idéale ($Z(\mathbf{r})$) à partir de performances ($Z(r^*)$) desdits chemins possibles (r^*) sur au moins lesdits critères,
- d) pour attribuer à chaque chemin possible (r^*) une valeur d'intérêt ($U(r)$) compte tenu de ladite solution idéale ($Z(\mathbf{r})$), puis classer lesdits chemins possibles compte tenu de leurs valeurs d'intérêt respectives, et
- e) sélectionner un chemin parmi lesdits chemins possibles classés, puis associer audit flux à commuter une étiquette représentative dudit chemin sélectionné de sorte que ce flux étiqueté soit commuté via ledit chemin vers le nœud de destination (LER2).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (P) sont agencés pour travailler à partir d'ensembles de données de service stockés dans ladite table (Tn1) et représentatifs d'un type de service et/ou d'une qualité de service.
 - 5 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que certaines desdites données d'informations, associées à un ensemble de données de service, étant représentatives d'au moins une contrainte locale, lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour déterminer parmi ladite multiplicité de nœuds (LSR) tous les couples de noeuds pouvant établir entre eux une liaison orientée supportant chaque contrainte locale stockée en correspondance d'un ensemble de données de service associé audit flux à commuter, puis pour s'assurer de la connexité de l'ensemble des noeuds desdits couples.
 - 10 4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que certaines desdites données d'informations, associées à un ensemble de données de service, étant représentatives d'au moins une contrainte globale, lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour retenir parmi lesdits chemins possibles (r^*) ceux qui satisfont à chaque contrainte globale stockée en correspondance d'un ensemble de données de service associé audit flux à commuter, de manière à n'attribuer des valeurs d'intérêt ($U(r)$) qu'auxdits chemins possibles retenus (r^*).
 - 15 5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'un au moins desdits critères est de type non additif.
 - 20 6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour intégrer, lors du calcul des chemins possibles (r^*) et de la déduction de ladite solution idéale ($Z(\mathfrak{r})$), une trace mémorisant un parcours correspondant à un chemin partiel, de manière à détecter et prévenir l'apparition de cycles dans les chemins en cours de construction.
 - 25 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour conserver des solutions, dites « faiblement non dominées » sur chaque critère déterminé, non additif, lors de la procédure d'élimination desdits chemins partiels.

8. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour vérifier ladite connexité en appliquant un mécanisme de propagation du nœud de départ (LER1) vers tous les autres nœuds (LSR) de ladite multiplicité de nœuds, de sorte que 5 chaque nœud (LSR) soit visité.
9. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour déterminer pour chaque chemin des valeurs représentatives de sa « performance » ($Z(r)$) par rapport à chaque critère déterminé, et pour qualifier de chemin possible (r^*) un chemin 10 (r) dont lesdites valeurs de performance ($Z(r)$) sont dites « non dominées ».
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour déterminer pour chaque critère déterminé la meilleure valeur de performance ($Z^*(r)$) observée sur lesdits chemins possibles, dite « valeur optimale », puis pour construire ladite 15 solution idéale ($Z(\mathbf{y})$) sous la forme d'un multiplet de composantes constituées des différentes valeurs optimales déterminées.
11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour attribuer une valeur d'intérêt 20 ($U(r)$) à chaque chemin possible (r) lorsqu'elle caractérise la plus grande valeur des composantes, associées aux différents critères déterminé(s), d'une fonction de Tchebychev pondérée, fonction des différences entre la performance dudit chemin possible (r^*) et la valeur optimale correspondante de ladite solution idéale ($Z(\mathbf{y})$).
12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que lesdits 25 moyens de traitement (Pn) sont agencés pour effectuer une présélection de k chemins possibles présentant les k plus petites valeurs d'intérêt ($U(r)$), puis pour sélectionner un chemin parmi ces k chemins présélectionnés.
13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdits 30 moyens de traitement (Pn) sont agencés pour calculer des chemins de type bidirectionnel.
14. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour sélectionner parmi lesdits k chemins au moins un autre chemin dédié à la restauration de liaison.

15. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdites contraintes locales et/ou globales déterminées appartiennent à un groupe comprenant au moins la bande passante minimale requise, la longueur maximale du chemin, la durée maximale du chemin, un ensemble de liaisons interdites ou obligatoires, le nombre maximal et/ou minimal de sauts du chemin, un ou plusieurs nœud(s) obligatoire(s), un ou plusieurs nœud(s) interdit(s), au moins une classe de service autorisée, un ensemble de couleurs de chemin, une capacité de multiplexage en longueurs d'onde, une capacité de concaténation, une capacité d'allocation et une capacité de protection.
- 10
16. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits critères appartiennent à un groupe comprenant au moins la bande passante disponible (C2), le nombre de sauts du chemin (C3), la durée du chemin (C1), une capacité de multiplexage en longueurs d'onde, une capacité de concaténation, une capacité d'allocation et une capacité de protection.
- 15
17. Dispositif selon la revendication 16, caractérisé en ce que lesdits critères comprennent la bande passante disponible (C2) et la durée du chemin (C1).
18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (Pn) sont agencés pour impacter ledit critère portant sur la durée du chemin (C1) par une pénalité.
- 20
19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que ladite pénalité porte sur le coût d'administration du chemin (CA).
- 25
20. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite table de correspondance (Tn1) comprend des facteurs de pondération associés à certains au moins desdits critères en fonction de leur importance.
21. Routeur de commutation d'étiquettes (LER) pour un réseau de communications à commutation d'étiquettes, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif selon l'une des revendications 1 à 20.

ABREGE

DISPOSITIF DE DÉTERMINATION DE CHEMINS DE COMMUTATION DANS UN RÉSEAU DE COMMUNICATIONS À COMMUTATION D'ÉTIQUETTES, EN PRÉSENCE D'ATTRIBUTS DE SÉLECTION

Un dispositif (D), dédié à la détermination de chemin(s) de commutation de flux de données dans un réseau à commutation d'étiquettes, comprend une table (Tn1) de correspondance entre des ensembles de données de service et des données d'informations représentant au moins deux critères, une structure descriptive (Tn2) contenant des données d'informations sur l'état d'utilisation et la topologie du réseau, et un module de traitement (Pn) agencé pour i) à réception d'une requête d'établissement de chemin contenant un ensemble de données de service associé à un flux à commuter, déterminer dans la table (Tn1) les critères associés à cet ensemble de données de service, ii) s'assurer de la connexité des nœuds du réseau à partir des données d'informations stockées dans la structure descriptive (Tn2), iii) parmi ces nœuds, calculer des chemins possibles entre des nœuds de départ (LER1) et de destination (LER2), compte tenu des critères, puis déduire une solution idéale à partir de performances des chemins possibles sur les critères, iv) attribuer à chaque chemin possible une valeur d'intérêt compte tenu de la solution idéale, puis classer ces chemins possibles compte tenu de leurs valeurs d'intérêt respectives, et v) sélectionner l'un des chemins possibles classés, puis associer au flux à commuter une étiquette représentative du chemin sélectionné afin que ce flux étiqueté soit commuté vers le noeud de destination.

(Figure 1)